نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص. ۹۲-۷۹

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 35, No. 1, Spring 2021, p. 79-92

مقاله پژوهشی

کاربرد تابع تصادفی غیر نرمال پلاتو در تعیین سطح بهینه اقتصادی مصرف نهاده کودهای شیمیایی در تولید غلات آبی (محصولات گندم و جو آبی)

حمید بلالی[۱*]- حبیب شهبازی[۲]- زهرا صید محمدی[۳]- مصطفی بنی‌اسدی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۲

چکیده

در سال‌های گذشته، مصرف بیش از اندازه کودهای شیمیایی، اثرات و پیامدهای زیست‌محیطی نامطلوبی مانند آلودگی آب و خاک و بروز مشکلاتی در مورد وضعیت سلامت انسان‌ها، به همراه داشته است. به دلیل اینکه استفاده نابهینه کودهای شیمیایی می‌تواند خطرات جدی برای محیط و سلامت جامعه ایجاد کند، در این مطالعه سطح بهینه اقتصادی مصرف کودهای شیمیایی ازته، فسفاته و پتاسه در تولید گندم و جو آبی ایران، با استفاده از تابع تصادفی غیر نرمال پلاتو و رویکرد بیزین، طی سال‌های زراعی ۸۶-۱۳۸۵ تا ۹۶-۱۳۹۵ برآورد شد. داده‌های مورد نیاز نیز از آمارنامه‌های کشاورزی و بانک هزینه تولید محصولات زراعی وزارت جهاد کشاورزی جمع‌آوری شد. پس از بررسی و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS، نتایج نشان داد که میانگین مصرف بهینه کودهای شیمیایی ازته، فسفاته و پتاسه در تولید گندم آبی به‌ترتیب ۱۱۷/۰۵، ۹۷/۷۱ و ۳۹/۶۸ کیلوگرم در هکتار و در مورد جو آبی به‌ترتیب ۲۹/۰۰، ۷۵/۱۷ و ۸۱/۸۱ کیلوگرم در هکتار است. براساس نتایج، کشاورزان در تولید گندم آبی، کودهای شیمیایی (ازته، فسفاته و پتاسه) را بیش‌تر از مقدار بهینه استفاده می‌کنند، به طوری‌که میانگین مصرف بهینه کودهای شیمیایی ازته، فسفاته و پتاسه در تولید گندم آبی، به‌ترتیب به میزان۴۶/۵۶ ، ۲۵/۳۴ و ۱۰/۹۵ کیلوگرم در هکتار، کم‌تر از مقدار فعلی مصرف کودهای شیمیایی در کشور است. همچنین نتایج نشان می‌دهند که میزان مصرف فعلی کودهای ازته و فسفاته در تولید جو آبی کشور نیز یشتر از سطح بهینه محاسبه شده می‌باشد. لذا به منظور تخصیص بهینه عوامل تولید و نیز جلوگیری از اثرات زیست‌محیطی نامطلوب مصرف بی‌رویه این نهاده مهم توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تابع تصادفی پلاتو، روش بیزین، کود شیمیایی، گندم، مصرف بهینه
طبقه‌بندی JEL: Q19 ،E23 ،D24

مقدمه

کشاورزی یکی از بخش‌های اساسی هر کشور است و در اشتغال‌زایی و تولید مواد اولیه صنایع، اهمیت بسیاری دارد. اما مهم‌ترین نقش کشاورزی در هر کشوری، تأمین مواد غذایی مورد نیاز مردم است (۲۹). جمعیت جهان در حال افزایش بوده و در عین حال منابع در حال کمیاب شدن می‌باشند. براساس گزارش جمعیت سازمان ملل متحد، جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۹/۱ میلیارد نفر یعنی ۳۴ درصد بالاتر از میزان کنونی خواهد رسید. بنابراین، تأمین غذای جمعیت در حال رشد جهان نیازمند تولید بیشتر محصولات کشاورزی است (۲۴)، به همین دلیل باید محصولاتی تولید شوند که برای زندگی انسان کارآمدتر باشند. یکی از راهکارهای افزایش تولید محصولات کشاورزی، افزایش عملکرد در واحد سطح است. کودهای شیمیایی به افزایش تولید در واحد سطح، کمک قابل توجهی می‌نمایند (۴). اما مصرف بیش از اندازه کودهای شیمیایی نیز، باعث مواردی مانند، آلودگی آب‌های زیرزمینی، کاهش کیفیت محصولات کشاورزی و به خطر افتادن سلامت انسان و محیط‌زیست می‌شود.

انسان به طور ذاتی تمام فعالیت‌هایش را طوری انجام می‌دهد که در انرژی صرفه‌جویی شود و به دنبال کاهش عوامل زیان‌بار است. این تمایل به دلیل استفاده از منابع محدود به منظور حداکثر کردن سود است. با استفاده از فرایند بهینه‌سازی می‌توان به این امر دست یافت. بهینه‌سازی یکی از مؤثرترین و ساده‌ترین روش‌های کمی در

۱، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانشیار، دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد و استادیار اقتصاد کشاورزی، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
(* - نویسنده مسئول: Email: h-balali@basu.ac.ir)
۲- استادیار اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سید جمال الدین اسدابادی

DOI: 10.22067/jead.2021.67444.1001

مدیریت و تصمیم‌گیری بوده و فرصتی برای برنامه‌ریزی و تخصیص بهتر منابع در بخش‌های مختلف، ازجمله بخش کشاورزی است زیرا نهاده‌هایی که موجب سودآوری بیشترند، مشخص می‌گردند (۳۶). ترکیبی از شرایط و منابع طبیعی ناسازگار، تغییر آب و هوا، افزایش جمعیت، توسعه شهری و رقابت در بازار جهانی، باعث بهینه‌سازی نهاده‌ها در تولید محصولات کشاورزی می‌شود. بهینه‌سازی محصولات کشاورزی برای تعیین بهترین ترکیب محصولات مهم است (۲۳). از همان ابتدای تولید، تولیدکنندگان در تلاش بودند تا با کم‌ترین هزینه، راه‌های کسب حداکثر درآمد را پیدا کنند. روش‌های بسیاری برای دست‌یابی به حداکثر وجود دارد. آگاهی از سطح بهینه اقتصادی نهاده‌های کشاورزی جهت سیاست‌گذاری دولت امری ضروری است. برای نمونه، اگر از کود شیمیایی برای تولید محصول گندم بیش از حد مطلوب استفاده شود، نه تنها باعث افزایش تولید نمی‌شود، بلکه در مواردی کاهش تولید را نیز در پی دارد. علاوه بر این، کاربرد بیش از حد نهاده‌های مهمی چون کود شیمیایی، موجب از بین رفتن سرمایه‌های ملی خواهد شد (۱۲).

متأسفانه هرچه برنامه‌ریزان و اقتصاددانان تأکید بر استفاده بهینه از منابع دارند، اما تولیدکنندگان به‌ویژه در بخش کشاورزی و سیاست‌گذاران به‌ویژه دولت‌ها توجهی به این امر نمی‌کنند؛ بنابراین می‌بایست اقداماتی جهت مصرف بهینه کودهای شیمیایی به منظور حداکثر کردن میزان برداشت محصول صورت گیرد؛ به همین دلیل، این تحقیق با هدف تعیین سطح بهینه اقتصادی مصرف کودهای شیمیایی (ازته، فسفاته و پتاسه) در تولید گندم آبی، انجام شده است.

بهینه‌سازی موضوعی بسیار قدیمی است و در علوم مختلف مانند ریاضیات، آمار، اقتصاد، کشاورزی، پزشکی، صنعت و تجارت مورد استفاده قرار می‌گیرد. نیاز به یافتن بهترین روش برای تولید مواد غذایی، یافتن بهترین قطعه زمین برای تولید و یافتن مؤثرترین راه‌های درمان بیماران، نمونه‌های مهمی از بهینه‌سازی در زندگی می‌باشند که تمام این موارد اهمیت بهینه‌سازی را بیان می‌کنند. با گذشت زمان، بهینه‌سازی نیز دچار تحول شده است. استلفی (۲)، بهینه‌سازی را عمل دست‌یابی به بهترین نتیجه ممکن در شرایط داده شده می‌داند. به این ترتیب، بهینه‌سازی روند یافتن شرایطی است که حداکثر یا حداقل را ارائه می‌دهد. اولین و مهم‌ترین مرحله در فرایند بهینه‌سازی، استفاده از الگوی مناسب است و این مرحله به خودی خود می‌تواند مشکل‌ساز باشد. یعنی در صورتی که الگو خیلی ساده باشد، به طور دقیق نمی‌تواند مسئله را نشان دهد از طرف دیگر، اگر الگوی ساخته شده بیش از حد پیچیده باشد، حل مسئله نیز بسیار دشوار است (۵). با استفاده از بهینه‌سازی بهترین پاسخ ممکن برای یک مسئله تعیین می‌شود. در واقع هدف از بهینه‌سازی یافتن بهترین پاسخ قابل قبول، با توجه به محدودیت‌ها و نیازهای مسئله است (۱۶). در علوم مختلف، روش‌های بهینه‌سازی متفاوتی وجود دارد و در همه آن‌ها یک تابع هدف تعریف و متناسب با هدف و شرایط موجود، حداکثرسازی و یا حداقل‌سازی می‌شود. در علم اقتصاد نیز روش‌های بهینه‌سازی مختلفی وجود دارد. به طور کلی، روش‌های بهینه‌سازی به دو دسته پارامتری (اقتصادسنجی) و غیر پارامتری تقسیم می‌شوند. در روش‌های غیر پارامتری، مقدار بهینه نهاده مورد نظر، با استفاده از روش‌های ریاضی و محاسباتی در چارچوب نظریه‌های اقتصادی به دست می‌آید. از این‌گونه روش‌ها می‌توان به برنامه‌ریزی خطی اشاره کرد که در آن یک تابع هدف که ترکیبی از محصولات مختلف و تعدادی تابع محدودیت که نشان‌دهنده مقدار نهاده‌های در دسترس است، تعریف می‌شود و از حل آن‌ها مقدار بهینه مصرف نهاده در کشت هر محصول به دست می‌آید. اما در روش پارامتری با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی، یک تابع که نشان‌دهنده ساختار تولید در منطقه مورد مطالعه می‌باشد، برآورد می‌گردد. سپس می‌توان با تخمین تابع تولید، توان تولیدی را مشخص و مقدار بهینه مصرف عوامل تولید را تعیین کرد (۲۰). در زمینه تعیین سطح بهینه عوامل تولید در بخش کشاورزی مطالعاتی در داخل و خارج از کشور انجام شده است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد.

عبدی‌رکنی و همکاران (۱)، در پژوهشی با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی، اثر بهینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی بر الگوی کشت (مطالعه موردی: گهرباران ساری) را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج این پژوهش، بیش‌تر کشاورزان کود شیمیایی را به صورت غیر بهینه استفاده می‌کنند. همچنین مصرف کود شیمیایی ۹۱ درصد کشاورزان گندم‌کار و ۹۳ درصد کشاورزانی که جو کشت می‌کنند، غیربهینه بوده و مصرف بهینه کود شیمیایی بر سطح سودآوری کشاورز اثرگذار است. به‌طوری‌که با ثابت ماندن سطح کشت کل، سود کشاورز حدود ۳ درصد نسبت به شرایط فعلی افزایش خواهد یافت. مجتهدی و دشتی (۱۹)، با محاسبه کشش تولیدی عوامل تولید و تابع تولید ترانسندنتال به بررسی اقتصاد مصرف نهاده‌ها در تولید گندم آبی شهرستان گرمی پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که برخی از گندم‌کاران از نهاده‌های کود شیمیایی، آب و زمین به طور بهینه استفاده نکرده‌اند به‌طوری‌که کود شیمیایی و آب در ناحیه سوم تولید و زمین در ناحیه اول قرار دارند. مؤذن و همکاران (۱۷)، در مطالعه‌ای با عنوان اقتصاد مصرف نهاده‌ها در تولید محصول پیاز دشت تبریز با استفاده از تابع ترانسلوگ به برآورد کشش تولیدی هر یک از عوامل تولیدی در تولید پیاز، پرداختند و مشخص شد که ترکیب نهاده آب، سم و ماسه کم‌تر از حد بهینه اما نیروی کار بیش‌تر از حد بهینه است. همچنین کشاورزان منطقه از نهاده‌های آب، سم، ماسه و نیروی کار در ناحیه دوم تولید استفاده می‌کنند مقدار کشش جزئی تولید برای نهاده‌های مذکور به ترتیب ۰/۴۶، ۰/۳، ۰/۱۵ و ۰/۰۳ محاسبه شد. سیدان (۲۸)، با استفاده از تابع تولید ترانسندنتال به تحلیل بهره‌وری و تعیین مقدار بهینه استفاده از عوامل تولید سیب

زمینی در شهرستان همدان پرداخت. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که مصرف کود حیوانی و آب بسیار نزدیک به سطح بهینه اقتصادی و مصرف کود شیمیایی و سم بیش‌تر از حد بهینه اقتصادی است. همچنین در تولید سیب‌زمینی از نیروی‌کار بیش‌تری استفاده می‌گردد. سمرچی (۲۷)، با استفاده از تابع تولید کاب-داگلاس به تعیین کارایی مصرف منابع تولیدی در تولید گندم (مطالعه موردی: استان ادیرن در ترکیه) پرداخت. پس از محاسبات مورد نظر، نتایج نشان داد در تولید گندم، ۲۱/۷۰ کیلوگرم بذر، ۵۵/۳۲ کیلوگرم کود شیمیایی و ۸۷/۳۱ سی سی سموم شیمیایی، برای عملکرد مناسب (حدود ۴۰۵/۶۴ کیلوگرم گندم) مورد نیاز است. کلیه متغیرهای موجود در معادله تولید در سطح ۵ درصد معنی‌دار گردید و مشخص شد که از اراضی و سموم شیمیایی در تولید گندم به طور فعال استفاده می‌شود. اما برای عملکرد بالاتر، افزایش مقدار بذر و کود شیمیایی لازم است. توموسوم و همکاران (۳۵)، در پژوهش خود به تعیین میزان بهینه کود نیتروژن با استفاده از مدل‌های پارامتر تصادفی پرداختند. بدین منظور، آزمایشی در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی انجام و از توابع مختلفی در تعیین سطح بهینه نیتروژن استفاده شد. بعد از نوشتن رابطه سود برای هر یک از توابع، مقدار مصرف بهینه انواع کود نیتروژنه در قیمت های مختلف برای توابع محاسبه گردید. نتایج نشان داد که تابع درجه دوم تصادفی به طور مداوم سطح بهینه نیتروژن را بالاتر از توابع دیگر، تخمین می‌زند و در تعیین سطح بهینه نیتروژن ضعیف است. گونی و همکاران (۱۰)، مطالعه‌ای را تحت عنوان تجزیه و تحلیل بهره وری استفاده از منابع در تولید برنج در منطقه دریاچه چاند ایالت برنو نیجریه انجام دادند. نهاده‌های مصرفی مورد مطالعه، کود شیمیایی، بذر، نیروی کار و اندازه مزرعه بود. برای ارزیابی چگونگی مصرف نهاده‌ها از تابع تولید کاب-داگلاس استفاده شد و به این نتیجه رسیدند که از نهاده نیروی کار در حد بهینه و سایر نهاده‌ها کم‌تر از حد بهینه استفاده می‌شود.

مواد و روش‌ها

به منظور تعیین سطح بهینه اقتصادی نهاده کودهای شیمیایی (نیتروژنه، فسفاته و پتاسه) در تولید گندم و جو آبی در ایران، با استفاده از رویکرد بیزین و تابع توزیع تصادفی غیر نرمال پلاتو، ابتدا الگوریتم توسعه‌یافته فون‌لیبیش[1] و سپس برآورد بیزین سود حداکثر شده از نهاده کودهای شیمیایی نام برده در تولید گندم و جو آبی توضیح داده می‌شود. داده‌های مورد استفاده نیز از آمارنامه‌های کشاورزی و بانک هزینه تولید محصولات زراعی وزارت جهاد کشاورزی جمع‌آوری شد. داده‌ها به صورت ترکیبی و برای سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۸۵ می‌باشند.

برآورد مقدار بهینه مصرف نهاده‌ها بستگی به شکل تابعی مورد نظر و فرضیات توزیعی مبتنی بر داده‌های تولید دارد. تابع تصادفی پلاتو از توابعی است که برای تعیین مقدار بهینه نهاده (به‌خصوص کودهای شیمیایی) مورد استفاده قرار می‌گیرد. تابع تصادفی پلاتو بینشی را در مورد اینکه چرا کشاورزان ممکن است، نهاده را بیش از حد بهینه به کار گیرند، فراهم می‌کند. این تابع از سال ۱۹۶۵، زمانی که اولین بار قانون فون‌لیبیش (حداقل عملکرد مرتبط محصول برای منابع محدود) توسعه یافت، مورد استفاده قرار گرفت. عملکرد تابع تصادفی پلاتو خطی از توابع غیر خطی و چند جمله‌ای‌ها بهتر است و به دلیل تصادفی بودن، الگوی واقعی‌تری از سود انتظاری تولیدکنندگان برآورد می‌کند (۳۳). سطح بهینه نهاده با توجه به نسبت قیمت محصول به نهاده، در تابع پلاتو تصادفی می‌تواند کم‌تر یا بیش‌تر از الگوهای رگرسیون سوئیچینگ[2] باشد.

تابع تصادفی خطی پلاتو شامل دو جزء تصادفی است، جزء اول تغییر در عملکرد محصول است که این تغییر ممکن است به دلایل غیر قابل پیش‌بینی و غیر قابل کنترل (بدی آب و هوا، بیماری‌ها و غیره) باشد و جزء دوم زمانی است که تغییرات نهایی نسبی صفر است. در توابع دارای فرض نرمال، دقت تخمین کاهش یافته و برآوردهای دارای تورش ایجاد می‌شود، اما با توجه به فرض غیرنرمال بودن تابع تصادفی پلاتو، این مشکل مرتفع می‌گردد. همچنین در این تابع، تغییرات سال به سال عملکرد و تولید محصولات نیز مورد توجه قرار می گیرد.

الگوریتم توسعه‌یافته فون‌لیبیش برای تولید محصول

کودهای شیمیایی یکی از منابع محدودکننده در تولید محصولات کشاورزی هستند. علاوه بر نیروی‌کار، سرمایه، آب، زمین و بذر، کودهای شیمیایی (به‌ویژه کودهای ازته) نهاده اصلی در تولید نرمال محصولات می‌باشد که باعث رشد با کیفیت آن می‌شود.

برای برآورد ساده الگو، تنها نهاده کودهای شیمیایی (ازته، فسفاته و پتاسه) منبع محدودکننده در نظر گرفته شده است. باید توجه شود که یک سطح آستانه‌ای وجود دارد که سطح پلاتوی عملکرد را کم‌تر نگه می‌دارد. بنابراین، اگر فرض شود که این نقطه مربوط به عرض از مبدأ است که بیان‌گر عملکرد بدون نهاده است، معادله به صورت رابطه زیر نوشته می‌شود:

$$Y_t = \beta_0 + \min(\beta_1 K_i, \theta v_t) + u_t + \varepsilon_t \qquad (1)$$

که Y_t عملکرد محصول در ایران، K مقدار نهاده در تولید محصول، β_i و θ ضرایب تابع عملکرد است که باید برآورد شوند، $u_t \approx N(0, \sigma_u^2)$ عرض از مبدأ انتقال‌دهنده‌ای است که بیان‌گر تمام

1- Von Liebig

2- Switching Regression Pattern

متغیرهای تصادفی است که می‌تواند موجب شود تا عرض از مبدأ به بالا یا پایین حرکت کند.

v_t ضریب تصادفی است که فرض می‌شود دارای توزیع بتا[1] و θ ضریب مقیاس و جزء خطای تصادفی $\varepsilon_t \approx N(\cdot, \sigma_\varepsilon^2)$ است. اگر تولیدکنندگان ریسک خنثی باشند، به دنبال استفاده از سطح کارایی اقتصادی نهاده به منظور حداکثرسازی بازده خالص انتظاری یعنی به دنبال بهینه کردن رابطه زیر می‌باشند:

$$\max_k \quad E(R_t|K) = pE[Y_t] - rK \qquad (۲)$$
$$\text{St.} \quad Y_t = \beta_۰ + \min(\beta_۱ K, \theta v) + u_t + \varepsilon_t \quad ,$$
$$K \geq ۰$$

که در آن، R_t بازده خالص تولید محصول در ایران، $E[Y_k]$ عملکرد انتظاری نهاده k و p قیمت هر واحد محصول است. عملکرد تابعی از مقدار نهاده است که تحت کنترل تولیدکننده بوده اما تابعی از عوامل غیر قابل کنترل مانند آب و هوا، بیماری‌ها و آفات نیز می‌باشد. هدف تولیدکننده تصمیم‌گیری در مورد نهاده به کار رفته برای رسیدن به بیش‌ترین مقدار بازده خالص انتظاری با فرض ثابت بودن قیمت تولیدات و نهاده است. با این فرض، تابع عملکرد انتظاری به صورت رابطه (۳) خواهد بود:

$$E(Y_t) = \beta_۰ + E[\min(\beta_۱ K, \theta v)] \qquad (۳)$$

براساس فرض بالا که انتقال‌دهنده پلاتو (θ) دارای توزیع بتا است، می‌توان تابع چگالی احتمالی(f) و تابع توزیع جمعی (F) را نوشت. تابع عملکرد انتظاری برای نهاده نیز به صورت رابطه زیر می‌باشد:

$$E(Y|K) = \beta_۰ + \min(\beta_۱ K\left[۱ - F(\beta_۱ K)\right] + \int_{-\infty}^{\beta_۱ K} \theta f(\theta) d\theta \qquad (۴)$$

با فرض وجود عدم حتمیت در رسیدن به بالاترین سطح عملکرد در کشور، مسئله انتخاب تولیدکننده، حداکثرسازی مطلوبیت سود انتظاری خواهد بود که به صورت رابطه (۵) نشان داده می‌شود:

$$\max_K E(\pi|K) = prob[\beta_۰ + \min\{(\beta_۱ K[۱ - F_{\beta_۱ K} + \int_{-\infty}^{\beta_۱ K} \theta f(\theta) d\theta\}] - rK \qquad (۵)$$

که prob، احتمال نتیجه مطلوب است. مسئله بهینه‌سازی شامل یافتن سطح بهینه نهاده در معادله (۵) می‌شود(۲۲).

1- Beta (B)

برآورد بیزین سود حداکثر شده از نهاده در تولید محصول

رویکرد بیزین که روشی غیر کلاسیکی است، در برآورد سطح اقتصادی نهاده کودهای شیمیایی (ازته، فسفاته و پتاسه) در تولید گندم آبی به کار رفته است. در روش کلاسیک، تفسیر فاصله اطمینان ممکن است در بعضی مواقع بی‌معنی باشد (برای مثال وقتی فقط یک نمونه وجود داشته باشد و نمونه‌های اضافی نیز جمع‌آوری نشوند)، ولی روش بیزی در این موارد نیز تفسیر معقولی را ارائه می‌دهد. در آمار بیزی پارامتر تخمین‌زده شده یک متغیر تصادفی است به این معنی که برخلاف روش کلاسیک جواب آن‌ها ثابت نیست و یک تابع احتمال برای پارامتر مورد نظر به دست می‌آید که احتمال مقادیر مختلف را برای پارامتر مورد نظر نشان می‌دهد (۱۱). تمام مشکلات مربوط به رویکرد بیزین، این است که رویکرد بیزین نیازمند استفاده از تصریح الگوی احتمالی برای داده و تصمیم‌گیری در مورد توزیع برتر برای هر ضریب در الگو است (۹). با توسعه روش‌های جدید برآوردی، الگوسازی توزیع‌های پیچیده امروزه کم‌تر بحث‌برانگیز است. شبیه‌ساز زنجیره مارکف مونت‌کارلو (MCMC[2]) در نرم‌افزار SAS[3]، یک راه‌حل ساده برای الگوسازی توزیع‌های احتمالی با استفاده از توضیحات قبلی ارائه می‌کند. توزیع برتر برای واریانس‌ها، انتظارات و ضرایب الگو براساس تجربه و مشاهدات می‌باشد. با تعریف مسئله بهینه‌سازی، نیاز به تعریف توزیع برتر ضرایب معادله میانگین ($\sigma_\varepsilon^۲$ و $\sigma_u^۲, \theta, \beta_۱, \beta_۰$) و ضرایب توزیع بتا ($\gamma$ و α) قبل از الگوسازی MCMC در SAS است. این رویکرد براساس توزیع برتری است که محقق را قادر به ایجاد استنتاجی با استفاده از ضرایب برآورد شده توزیع برتر داده‌ها به جای یک قضاوت ساده در مورد ضرایب می‌کند (۸). چندین توزیع در ادبیات موضوع استفاده شده است که شامل توزیع یک‌نوا[4]، گامای معکوس[5]و توزیع‌هایی که بستگی به واریانس داده‌ها دارد، می باشد. در این پژوهش، از توزیع ترکیبی استفاده می‌شود لذا از توزیع گامای معکوس برای واریانس دو ضریب، توزیع یک‌نوا برای ضرایب بتا و توزیع نرمال[6] برای عرض از مبدأ و شیب استفاده می‌شود.

چنانچه فرض شود جزء خطا $\varepsilon_t \approx N(\cdot, \sigma_\varepsilon^۲)$ است، توزیع عملکرد و مجموعه توزیع به‌کار رفته پیشین به صورت رابطه ۶ بیان می‌شود:

$$Y_t \approx N(\beta_۰ + \min(\beta_۱ K, \theta v) + u_t) \qquad (۶)$$

2- Markov Chain Monte Carlo
3- Statistical Analysis System
4- Uniform
5- Inverse gamma (IG)
6- Normal (N)

که در آن، $\beta_0 \approx N(\mu_0, \sigma_0^2)$، $\beta_1 \approx N(\mu_1, \sigma_1^2)$، $\theta \approx IG(0/01, scale)$، $\alpha \approx UF(0,50)$، $\gamma \approx UF(0,50)$، $\sigma_\varepsilon^2 \approx IG(0/0001, scale)$ و $\sigma_u^2 \approx IG(0/0001, scale)$، می‌باشند. اگر فرض شود تابع هدف کشاورز ریسک خنثی، در رابطه (۵) وجود داشته باشد، باید ضروریات روش برآورد بیزین برای به دست آوردن سطح بهینه نهاده که تابع هدف با فرض وجود توزیع برتر برای ضرایب است، تعریف شود.

بر اساس این فرض که $E(Y_i|v \geq \beta_0 + \min(\beta_1 K)) = \beta_0 + \min(\beta_1 K))$، $v \approx B(\alpha, \gamma)$ و $E(Y_i|v \leq \beta_0 + \min(\beta_1 K)) = \beta_0$ است، می‌توان رابطه (۸) را به صورت زیر نوشت:

$$E(Y_i) = (1 - \varphi)\left[\beta_0 + \min(\beta_1 K)\right] + \varphi\beta_0\sigma_v^2 \qquad (7)$$

که، $\varphi = F(\chi|\alpha, \beta) = \frac{1}{B(\alpha,\gamma)} \int_{\beta_0}^{\chi} t^{\alpha-1}(-t)^{\gamma-1}dt$، توزیع تجمعی بتا برای ضریب v در تابع عملکرد است. با جایگذاری رابطه (۷) در رابطه (۲)، رابطه (۸) به دست می‌آید:

$$\max_K \quad E(R_t|K) = pE[(1 - \varphi)[\beta_0 + \min(\beta_1 K)] + \varphi\beta_0\sigma_v^2] - rK \qquad (8)$$

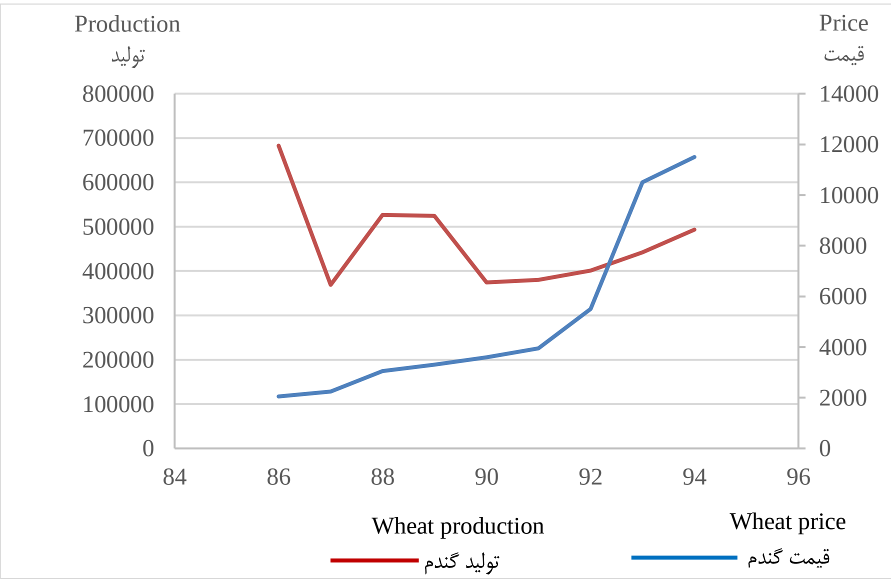
برای محاسبه سطح بهینه نهاده، سود انتظاری در ایران و سطح متوسط نهاده برای تمامی مقادیر، روش برنامه‌ریزی ریاضی غیر خطی استفاده شده است. معادله سود انتظاری برای تعیین سطح نهاده در تولید محصول به صورت رابطه (۹) است:

$$E(\pi_t) = P_w\left\{\beta_0 + \min(\beta_1 K, \psi) - P_k K\right\}/nn \qquad (9)$$

که، $E(\pi_t)$ سود انتظاری در سال t، P_w و P_k به ترتیب قیمت هر واحد محصول و هر واحد نهاده، ψ تابع کمی برای ضریب پلاتو و nn تعداد داده‌ها است (۲۲).

نتایج و بحث

در ابتدای این بخش به‌طور مختصر و برای محصول گندم، داده‌های تولید، قیمت محصول و قیمت و مقدار مصرف کودهای شیمیایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. یکی از عوامل اثرگذار بر تولید گندم در کشور، قیمت‌گذاری مناسب گندم در کشور است که می‌تواند بر میزان تولید گندم در کشور اثرگذار باشد. شکل ۱ روند قیمت تضمینی و میانگین تولید استانی گندم در کشور طی دوره ۹۶-۱۳۸۶ را نشان می‌دهد.



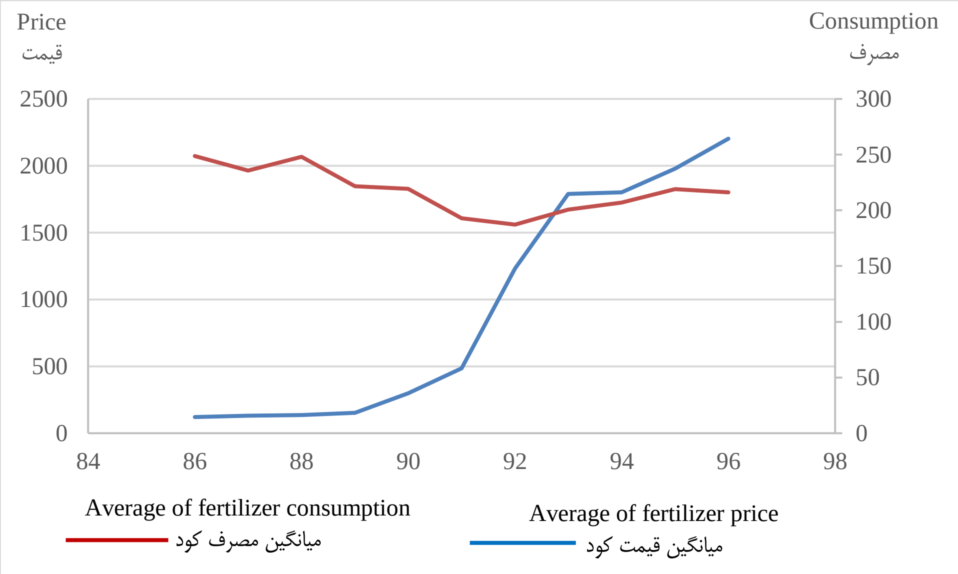
شکل ۱- روند قیمت تضمینی و میانگین تولید استانی گندم طی دوره ۹۶-۱۳۸۶ در ایران

Figure 1- Guaranteed price trend and average provincial production of wheat during the period 2007-17 in Iran

همانطور که در نمودار مشخص است همراه با افزایش قیمت، میانگین تولید در سطح استان‌ها هم در حال افزایش است. شکل ۲، میانگین مصرف و قیمت انواع کودهای شیمیایی را نشان می‌دهد.

همانطور که در نمودار ۲ مشخص است، همراه با افزایش قیمت انواع کودهای شیمیایی، میانگین مصرف این کودها در هکتار کاهش یافته است. اما در عین حال، کاهش در مصرف کودهای شیمیایی منجر به کاهش تولید گندم نشده است. این پدیده نشان می‌دهد که مصرف کودهای شیمیایی بیش از مقدار بهینه مصرف بوده که سبب

شده کاهش مصرف کود تاثیر منفی بر تولید گندم نداشته باشد.



شکل ۲- میانگین مصرف و قیمت انواع کودهای شیمیایی طی دوره ۹۶-۱۳۸۶

Figure 2- Average consumption and price of chemical fertilizers during the period 2007-17

نتایج تخمین تابع غیر نرمال پلاتو برای تولید گندم آبی

ضرایب الگوی تصادفی پلاتو توسط روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو (MCMC)، در تولید گندم آبی برآورد گردید. جدول ۱ نتایج تخمین تابع تولید گندم و میانگین سطح بهینه نهاده کودهای شیمیایی (ازته، فسفاته و پتاسه) در ایران را نشان می‌دهد.

جدول ۱- نتایج تخمین تابع غیر نرمال پلاتو برای تولید گندم ایران

Table 1– Results of estimating the abnormal plateau function for Iranian wheat production

متغیر Variable	نماد Symbol	آماره Statistics MCMC	SE	t
عرض از مبدأ Intercept	β_0	2754.5*	1521.823	1.81
ضریب شیب Slope coefficient	β_1	29.4	22.27273	1.32
واریانس عرض از مبدأ انتقال‌دهنده Transmitter intercept variance	σ_u^2	34742.13**	17284.64	2.01
واریانس جزء خطا Variance of error term	σ_ε^2	25307.82***	7445.867	3.31
ضریب آلفا Alpha coefficient	α	1.42	1.044	1.36
ضریب گاما Gamma coefficient	γ	22.5***	6.25	3.6
ضریب تتا Theta coefficient	θ	148.9*	80.053	1.86
میانگین سطح بهینه ازت مصرفی Average of optimal level of nitrogen consumption	N^*	117.05***	43.8967	2.66
میانگین مقدار فعلی مصرف ازت The average of current amount of nitrogen	N	163.26262		

consumption				
عرض از مبدأ Intercept	β_0	2904.5	1781.902	1.63
ضریب شیب Slope coefficient	β_1	27.8	23.760	1.17
واریانس عرض از مبدأ انتقال‌دهنده Transmitter intercept variance	σ_u^2	133458.3**	59579.61	2.24
واریانس جزء خطا Variance of error term	σ_ε^2	18179.33**	7606.413	2.39
ضریب آلفا Alpha coefficient	α	2.64***	0.877	3.01
ضریب گاما Gamma coefficient	γ	28.4***	10.441	2.72
ضریب تتا Theta coefficient	θ	236.4**	112.57	2.1
میانگین سطح بهینه فسفات مصرفی Average of optimal level of phosphate consumption	P^*	97.7***	27.409	3.56
میانگین مقدار فعلی مصرف فسفات The average of current amount of phosphate consumption	P	123.062		
عرض از مبدأ Intercept	β_0	3103.4	2482.72	1.25
ضریب شیب Slope coefficient	β_1	25.4**	11.239	2.26
واریانس عرض از مبدأ انتقال‌دهنده Transmitter intercept variance	σ_u^2	187352.2	120102	1.56
واریانس جزء خطا Variance of error term	σ_ε^2	15495.42	10194.4	1.52
ضریب آلفا Alpha coefficient	α	1.34	1.3267	1.01
ضریب گاما Gamma coefficient	γ	24.6***	6.7213	3.66
ضریب تتا Theta coefficient	θ	125.6***	38.646	3.25
میانگین سطح بهینه پتاس مصرفی Average of optimal level of Potash consumption	K^*	39.68***	13.816	2.87
میانگین مقدار فعلی مصرف پتاس The average of current amount of Potash consumption	K	50.6454		

*،** و *** معنی‌داری در سطح ۱۰، ۵ و ۱ درصد

*,** and *** Sjgnificant in 10,5 and 1 percent Level

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

طبق نتایج جدول ۱ میانگین مصرف بهینه کود ازت در تولید گندم آبی ایران برابر ۱۱۷/۰۵ کیلوگرم در هکتار برآورد شد در حالی که میانگین مصرف فعلی کود ازت در تولید گندم آبی برابر ۱۶۳/۶۲۶ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. به عبارتی طی سال‌های ۸۶ تا ۹۶ مقدار کود ازت مصرفی در تولید گندم آبی ایران، به میزان ۴۶/۵۷۶ کیلوگرم در هکتار (معادل ۲۸/۴۶ درصد) بیش‌تر از سطح بهینه مصرف شده است. با توجه به اینکه در این الگو سطح بهینه نهاده کود ازت بصورت ضریب برآورد شده است (بصورت تصادفی)، لذا آماره معنی‌داری برای آن قابل برآورد می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد ضریب مصرف بهینه کود ازت در سطح ۱ درصد معنی‌داری می‌باشد. با توجه به معنی‌داری برآورد مصرف بهینه کود ازت در تولید گندم آبی، می‌توان عملکرد بالقوه گندم آبی را حدود ۲۷۵۴/۵ کیلوگرم در هکتار در روش بیزین به

دست آورد.

میانگین مصرف بهینه کود فسفات در تولید گندم آبی ایران برابر ۹۷/۷۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شد در حالی که، میانگین مصرف فعلی کود فسفات در تولید گندم آبی برابر ۱۲۳/۰۶۲کیلوگرم در هکتار می‌باشد. به عبارتی طی سال‌های ۸۶ تا ۹۶ مقدار کود فسفات مصرفی در تولید گندم آبی ایران، به میزان ۲۵/۳۶۲ کیلوگرم در هکتار (معادل ۲۰/۶۰۹ درصد) بیش‌تر از سطح بهینه مصرف شده است. با توجه به اینکه در این الگو سطح بهینه نهاده کود فسفات بصورت ضریب برآورد شده است (بصورت تصادفی)، لذا آماره معنی‌داری برای آن قابل برآورد می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد ضریب مصرف بهینه کود فسفات در سطح ۱ درصد معنی‌داری می‌باشد. با توجه به معنی‌داری برآورد مصرف بهینه کود فسفات در تولید گندم آبی، می‌توان عملکرد بالقوه گندم آبی را حدود ۲۹۰۴/۵ کیلوگرم در هکتار در روش بیزین به دست آورد.

میانگین مصرف بهینه کود پتاس در تولید گندم آبی ایران برابر ۳۹/۶۸ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. در حالی که، میانگین مصرف فعلی کود پتاس در تولید گندم آبی برابر ۵۰/۶۴۵ کیلوگرم در هکتار می باشد. به عبارتی، طی سال‌های ۸۶ تا ۹۶ مقدار کود پتاس مصرفی در تولید گندم آبی ایران، به میزان ۱۰/۹۵۶ کیلوگرم در هکتار (معادل ۲۱/۶۵ درصد) بیش‌تر از سطح بهینه مصرف شده است. با توجه به اینکه در این الگو سطح بهینه نهاده کود پتاس بصورت ضریب برآورد شده است (بصورت تصادفی)، لذا آماره معنی‌داری برای آن قابل برآورد می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد ضریب مصرف بهینه کود پتاس در سطح ۱ درصد معنی‌داری می‌باشد. با توجه به معنی‌داری برآورد مصرف بهینه کود پتاس در تولید گندم آبی، می‌توان عملکرد بالقوه گندم آبی را حدود ۳۱۰۳/۴ کیلوگرم در هکتار در روش بیزین به دست آورد.

اگرچه معنی‌داری ضرایب الگو به منظور سنجش خوبی برازش کلی الگو برآورد شده است اما معنی‌داری ضرایب مربوط به سطح بهینه مصرف نهاده، تأییدی بر این است که نهاده‌های مصرفی فعلی در تولید محصول گندم بهینه نمی‌باشد. لازم به توضیح است که سایر متغیرها بصورت ضریب در الگو لحاظ شده است که معنی‌داری آن‌ها تفسیر مستقیم اقتصادی در الگو ندارند و به لحاظ نظری در روش بیزین آمده‌اند. برای مثال، در الگو، واریانس‌ها، برای نشان دادن شکل توزیع جزء خطای تصادفی u_t و ε_t آمده است و معنی‌داری آن تأییدی بر نرمال‌بودن شکل توزیع آن‌ها (بر اساس فروض الگو) می‌باشد.

نتایج تخمین تابع غیرنرمال پلاتو برای تولید جو آبی

الگوها با قیمت تضمینی (ریال) برای هر کیلوگرم جو در سال‌های مربوطه (قیمت تضمینی سال‌های مختلف ۹۶-۸۶) و میانگین قیمت (ریال) هر کیلوگرم کود ازت، فسفات و پتاسیم در تولید جو آبی سال‌های مختلف (۹۶-۸۶)، برآورد شده اند. جدول ۲ نتایج تخمین تابع تولید جو و میانگین سطح بهینه نهاده کودهای شیمیایی (ازته، فسفاته و پتاسه) در ایران را نشان می‌دهد.

جدول ۲- نتایج تخمین تابع غیر نرمال پلاتو برای تولید جو آبی ایران

Table 2– Results of estimating the abnormal plateau function for Iranian barley production

متغیر Variable	نماد Symbol	آماره Statistics MCMC	 SE	 t
عرض از مبدأ Intercept	β_0	2549.80**	1256.06	2.03
ضریب شیب Slope coefficient	β_1	32.40*	16.615	1.95
واریانس عرض از مبدأ انتقال‌دهنده Transmitter intercept variance	σ_u^2	6535.621***	1922.241	3.40
واریانس جزء خطا Variance of error term	σ_ε^2	11904.30**	55887.48	2.13
ضریب آلفا Alpha coefficient	α	2.45***	0.75	3.26
ضریب گاما Gamma coefficient	γ	15.50***	4.65	3.33
ضریب تتا Theta coefficient	θ	98.64**	42.88	2.30
میانگین سطح بهینه ازت مصرفی Average of optimal level of nitrogen consumption	N^*	29.00***	10.10	2.87

میانگین مقدار فعلی مصرف ازت The average of current amount of nitrogen consumption	N	38.75		
عرض از مبدأ Intercept	β_0	2385.30^{***}	896.692	2.63
ضریب شیب Slope coefficient	β_1	37.6^{***}	13.574	2.77
واریانس عرض از مبدأ انتقال‌دهنده Transmitter intercept variance	σ_u^2	10313.19	6066.58	1.70
واریانس جزء خطا Variance of error term	σ_ε^2	248976.6^{**}	106400.2	2.34
ضریب آلفا Alpha coefficient	α	3.87^{***}	1.49	2.59
ضریب گاما Gamma coefficient	γ	17.38^{***}	6.034	2.88
ضریب تتا Theta coefficient	θ	90.09^{***}	28.782	3.13
میانگین سطح بهینه فسفات مصرفی Average of optimal level of phosphate consumption	P^*	75.17^{***}	21.57	3.48
میانگین مقدار فعلی مصرف فسفات The average of current amount of phosphate consumption	P	42.015		
عرض از مبدأ Intercept	β_0	2709.90^{***}	776.475	3.49
ضریب شیب Slope coefficient	β_1	31.10^{**}	13.580	2.29
واریانس عرض از مبدأ انتقال‌دهنده Transmitter intercept variance	σ_u^2	11243.07^{***}	2306.785	3.40
واریانس جزء خطا Variance of error term	σ_ε^2	245322.10^{***}	69496.340	3.53
ضریب آلفا Alpha coefficient	α	2.64^{*}	1.346	1.96
ضریب گاما Gamma coefficient	γ	15.97^{*}	8.189	1.95
ضریب تتا Theta coefficient	θ	96.63^{**}	46.907	2.06
میانگین سطح بهینه پتاس مصرفی Average of optimal level of Potash consumption	K^*	81.81^{**}	39.551	2.06
میانگین مقدار فعلی مصرف پتاس The average of current amount of Potash consumption	K	134.18		

*،** و *** معنی‌داری در سطح ۱۰، ۵ و ۱ درصد

*,** and *** Sjgnificant in 10,5 and 1 percent Level

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

طبق نتایج جدول ۲ میانگین مصرف بهینه کود ازت در تولید جـو آبی ایران، برابر ۲۹/۰۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شـد. در حـالی کـه، میانگین مصرف فعلی کود ازت در تولید جو آبی برابر ۳۸/۷۵ کیلوگرم در هکتار می باشد. به عبارتی طی سال‌های ۸۶ تا ۹۶ مقدار کود ازت مصرفی در تولید جو آبی ایران، بـه میـزان ۹/۷۵ کیلـوگرم در هکتـار (معادل ۲۵/۱۶۱ درصد) بیش‌تر از سطح بهینه مصرف شده اسـت. بـا توجه به اینکه در این الگو سطح بهینه نهاده کود ازت بصورت ضریب برآورد شده است (بصورت تصادفی)، لـذا آمـاره معنـی‌داری بـرای آن

قابل برآورد می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد ضریب مصرف بهینه کود ازت در سطح ۱ درصد معنی‌داری می‌باشد. با توجه به معنی‌داری برآورد مصرف بهینه کود ازت در تولید جو آبی، می‌توان عملکرد بالقوه جو آبی را حدود ۲۵۴۹/۸ کیلوگرم در هکتار در روش بیزین به دست آورد.

میانگین مصرف بهینه کود فسفات در تولید جو آبی ایران، برابر ۷۵/۱۷ کیلوگرم در هکتار برآورد شد در حالی که میانگین مصرف فعلی کود فسفات در تولید جو آبی برابر ۴۲/۱۰۵ کیلوگرم در هکتار می باشد. به عبارتی، طی سال‌های ۸۶ تا ۹۶ مقدار کود فسفات مصرفی در تولید جو آبی ایران، به میزان ۳۳/۰۶۵ کیلوگرم در هکتار (معادل ۷۸/۵۲ درصد) کم‌تر از سطح بهینه مصرف شده است. با توجه به اینکه در این الگو سطح بهینه نهاده کود فسفات بصورت ضریب برآورد شده است (بصورت تصادفی)، لذا آماره معنی‌داری برای آن قابل برآورد می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد ضریب مصرف بهینه کود فسفات در سطح ۱ درصد معنی‌داری می‌باشد. با توجه به معنی‌داری برآورد مصرف بهینه کود فسفات در تولید جو آبی، می‌توان عملکرد بالقوه جو آبی را حدود ۲۳۵۸/۳ کیلوگرم در هکتار در روش بیزین به دست آورد.

میانگین مصرف بهینه کود پتاس در تولید جو آبی ایران، برابر ۸۱/۸۱ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. در حالی که، میانگین مصرف فعلی کود پتاس در تولید جو آبی برابر ۱۳۴/۱۸ کیلوگرم در هکتار می باشد. به عبارتی طی سال‌های ۸۶ تا ۹۶ مقدار کود پتاس مصرفی در تولید جو آبی ایران، به میزان ۵۲/۳۷ کیلوگرم در هکتار (معادل ۳۹/۰۲۹ درصد) بیش‌تر از سطح بهینه مصرف شده است. با توجه به اینکه در این الگو سطح بهینه نهاده کود پتاس بصورت ضریب برآورد شده است (بصورت تصادفی)، لذا آماره معنی‌داری برای آن قابل برآورد می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد ضریب مصرف بهینه کود پتاس در سطح ۵ درصد معنی‌داری می‌باشد. با توجه به معنی‌داری برآورد مصرف بهینه کود پتاس در تولید جو آبی، می‌توان عملکرد بالقوه جو آبی را حدود ۲۷۰۹/۹ کیلوگرم در هکتار در روش بیزین به دست آورد.

نتیجه‌گیری

در ایران کود شیمیایی، وسیله‌ای برای رسیدن کشاورزان به حداکثر تولید است، کودهای شیمیایی باید علاوه بر هدف اصلی کشاورزی یعنی افزایش تولید، بتوانند آلودگی محیط‌زیست و بروز بیماری را به حداقل برسانند. متأسفانه به دلیل قیمت پایین، کاربرد آسان و در دسترس بودن کودهای شیمیایی، مصرف آن‌ها در کشور زیاد است. این پژوهش با هدف تعیین میزان بهینه اقتصادی مصرف نهاده کودهای شیمیایی (ازته، فسفاته و پتاسه) در تولید گندم و جو آبی در ایران با روش بیزین انجام شد. نتایج حاصل از تخمین با رویکرد بیزین نشان داد که طی سال‌های ۹۶-۸۶ مقدار بهینه مصرف نهاده کودهای شیمیایی ازته، فسفاته و پتاسه در تولید گندم آبی ایران، به ترتیب به میزان ۴۶/۵۶۸، ۲۵/۳۴۸۱۱ و ۱۰/۹۵۶ کیلوگرم در هکتار کم‌تر از مقدار فعلی مصرف این کودها در ایران است. میانگین مصرف بهینه کودهای شیمیایی ازته، فسفاته و پتاسه در مورد جو آبی به‌ترتیب ۲۹/۰۰، ۷۵/۱۷ و ۸۱/۸۱ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید. براساس نتایج، میزان مصرف فعلی کودهای ازته و فسفاته در تولید جو آبی کشور نیز بیشتر از سطح بهینه محاسبه شده می باشد.

بهینه نبودن مصرف کودهای شیمیایی توسط کشاورزان، با نتایج مطالعاتی مانند فلاحی و همکاران (7) و اکثر مطالعات دیگر در زمینه تعیین سطح بهینه اقتصادی نهاده‌ها در تولید محصولات کشاورزی همسو است. به عنوان مثال در پژوهش فلاحی و همکاران میزان کود شیمیایی مصرفی (اوره) در تولید گندم آبی را ۶۷ کیلوگرم در هکتار بیش از حد بهینه اقتصادی به دست آوردند. در مطالعه حاضر نیز میانگین مصرف کود شیمیایی ازته در کشور به میزان ۴۶/۵۷۶ کیلوگرم در هکتار، مصرف کود شیمیایی پتاسه به میزان ۱۰/۹۵۶ کیلوگرم در هکتار و میانگین مصرف کود شیمیایی فسفاته به میزان ۲۵/۳۴۸۱۱ کیلوگرم در هکتار، بیش‌تر از مقدار بهینه اقتصادی برآورد گردید.

در کشور، به طور متوسط در هر هکتار گندم آبی، به میزان ۸۲/۸۷۲۴۷، کیلوگرم کودهای شیمیایی (ازته، فسفاته و پتاسه) بیش‌تر مصرف شده است و در مورد محصول جو آبی این عدد به ۲۹/۰۵۵ کیلوگرم می رسد. بنابراین دولت باید سیاست‌های مناسبی برای کاهش میزان مصرف کودهای شیمیایی و رسیدن به سطح بهینه مصرفشان، در نظر گیرد. همان طور که نتایج مطالعه نشان می‌دهد، کشاورزان کودهای شیمیایی را به صورت غیر بهینه مصرف می‌کنند. بنابراین توجه به نتایج پیشنهادهای زیر جهت مصرف بهینه کود شیمیایی ارائه می‌گردد:

– از آنجایی‌که روش بیزین در برآورد مقادیر بهینه اقتصادی مصرف کودهای شیمیایی دقیق‌تر از روش‌های کلاسیک می‌باشد، مقادیر را نزدیک‌تر به سطح واقعی نشان می‌دهد و امکان خطا در این روش کم‌تر است، بنابراین پیشنهاد می‌گردد که از این روش (بیزین) برای یافتن سطح بهینه اقتصادی نهاده‌ها (با چند متغیر) استفاده گردد.

– در مطالعه حاضر، مصرف بهینه نهاده کود از منظر اقتصادی تعیین شد. برای ادامه مطالعات با استفاده از روش تابع تصادفی غیر نرمال پلاتو و روش بیزین توجه به بهینه محیط زیستی، نتایج این مطالعه را تکمیل می‌کند. لذا پیشنهاد می‌شود، بهینه‌یابی مصرف کود، از هر دو منظر اقتصادی و محیطزیستی انجام شود.

– به منظور افزایش کارایی کودهای شیمیایی و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف متداول آن‌ها در تولید محصولات کشاورزی، دولت باید پرداخت مستقیم یارانه کود شیمیایی

را کاهش دهد، پیگیری فرایند هدف‌مند کردن یارانه نهاده‌های تولید با توجه به حاشیه سود معقول برای کشاورزان می‌تواند آثار مفیدی در راستای بهینه‌سازی مصرف این نهاده مهم (کودهای شیمیایی) داشته باشد.

– در خصوص حذف یارانه و قیمت‌گذاری کودهای شیمیایی (ازته، فسفاته و پتاسه)، باید اهمیت نوع کود در تولید محصول، کشش تولیدی نهاده و کشش تقاضای نهاده مد نظر قرار گیرد و قیمت متناسب با میزان مصرف بهینه برآوردی تعیین گردد.

– یکی دیگر از روش‌های کاهش مصرف کودهای شیمیایی، استفاده از روش کود آبیاری است. کود آبیاری به معنای به کار بردن مواد شیمیایی کشاورزی همراه آب آبیاری در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی می‌باشد، در این روش به دلیل استفاده بهینه از مصرف آب و کودهای شیمیایی، آلودگی‌های زیست‌محیطی به حداقل می‌رسد.

منابع

1. Abdi Rokni K., Hussain Yekani S.A., Kashiri F., and Abedi S. 2019. Effect of optimizing chemical fertilizer use on cropping pattern in positive mathematical planning (Case study: Sari Gherbaran). Journal of Agricultural Economics Research 11(2): 263-276. (In Persian with English abstract)
2. Astolfi A. 2006. Optimization an introduction. Imperial College London. Available at: http://www3.imperial. ac.uk/pls/portallive/docs/1/7288263. PDF. (Visited: December 2015)
3. Behnood H.R., Zamani S., and Naderan A. 2020. Impact assessment of the construction of extremist bus lines on the frequency of the accident on urban highways (Case study: Resalat Tehran highway). Journal of Transportation Engineering 10(3): 603-615. (In Persian with English abstract)
4. Chandini K.R., Kumar R., and Prakash O. 2019. The Book Research Trends in Environmental Sciences. The Impact of Chemical Fertilizers on Our Environment and Ecosystem. Edition: 2nd. AkiNik Publications. pp: 69-86.
5. Djordjevic S.S. 2019. Some unconstrained optimization methods. DOI: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.83679.
6. Ehsani M.A., Keshavarz H., and Keshavarz M. 2018. The impact of monetary and financial policies on employment fluctuations with an emphasis on private sector employment. Journal of Economic Growth and Development Research 7(26): 125-144. (In Persian with English abstract)
7. Falahi E., Khalilian S., and Ahmadian M. 2014. Determining the optimal economic value of water consumption and environmental pollutants in water wheat production (Case study: Seyedan Farouk plain, Marvdasht county. Journal of Agricultural Economics and Development 22(87): 139-162. (In Persian with English abstract)
8. Gelman A. 2006. Prior distributions for variance parameters in hierarchical models. Bayesian Analysis 1(3): 515-533.
9. Glickman M.E., and van Dyk D.A. 2003. Basic bayesian methods. Methods in Molecular Biology 404: 319-338.
10. Goni M., Mohammed S., and Baba B.A. 2007. Analysis of resource-use efficiency in rice production in the lake Chand area of borno state, Nigeria. Journal of Sustainable Development in Agriculture and Environment 3(7): 31-37.
11. Grzenda W. 2015. The advantages of bayesian methods over classical methods in the context of credible intervals. Information Systems in Management 4(1): 53-63.
12. Hezhaber Kiani K. 2000. Assess and determine the optimal economic use of inputs in the cultivation of wheat. Agricultural Economics and Development 28: 77-108. (In Persian with English abstract)
13. Jahan M., and Amiri M.B. 2018. Optimizing application rate of nitrogen, phosphorus and cattle manure in wheat production: an approach to determine optimum scenario using response-surface methodology. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 18(1): 13-26.
14. Makian S.N., Rostami M., and Ramazani H. 2019. Analyzing the relationship between robbery and income inequality with the Bayesian approach (Case study: Iran). Journal of Economic Research (Sustainable Development and Growth) 23(76): 137-158. (In Persian with English abstract)
15. Makian S.N., Rostami M., Farhadi D., and Zabul M.A. 2019. Impact of unemployment on crime in Iran (hierarchical approach of the bayesian panel - poisson). Iranian Journal of Economic Research 23(76): 137-158. (In Persian with English abstract)
16. Mirzaie S.h., Zakerinia M., Sharifan H., and Shahabifar M. 2015. Determination of optimum cropping Pattern by the Minimum Maximum Method (MMAS) of Ant System (Case Study: Golestan Dam Irrigation and drainage network). Iranian Journal of Irrigation and Drainage 9(1): 66-74. (In Persian with English abstract)
17. Moazen V., Mojtahedi M., and Dashti G. 2015. Economics of input consumption in onion production in Tabriz plain. International conference on “Management Economics and Agricultural Sciences”. Bandar Anzali Free Zone, International Center for Academic Communication, Academic Entrepreneurship Development, 22 July 2015. (In Persian with English abstract)
18. Moein-Al-dini A. 2016. Investigation of economic factors of wheat production in Fars province. 3rd International

conference on “Modern Research in Management, Economics and Humanities”. Georgia Batum, Karin Institute of Excellence Conference, 5 June. 2016. (In Persian with English abstract)
19. Mojtahedi M., and Dashti G. 2015. Economics of input consumption in water wheat production in Grammy County. 4th national congress on “Organic and Conventional Agriculture”. Ardabil, Mohaghegh Ardebili University, 19-20 August 2015. (In Persian)
20. Naal Bandi Aghdam L., Dashti Gh., and Ajly J. 2013. Comparative evaluation of consumption factors of blue wheat production factors in the small and large farms of Ahar city. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 23(2): 85-97. (In Persian with English abstract)
21. NazamFar H. 2017. Forecasts of urban development using the geographic information system integration method and the bayesian probabilistic model (Case study: Ardebil city). Journal of Human Geography Research 49(2): 357-370. (In Persian with English abstract)
22. Ouedraogo F.B., and Brorsen B.W. 2014. Bayesian estimation of pptimal nitrogen rates with a non-normally distributed stochastic plateau function. Southern Agricultural Economics Association (SAEA), Annual Meeting, Dallas, Texas, 1-4 February 2014.
23. RaheliNamin B., Mortazavi S., and Salmanmahiny A. 2016. Optimizing cultivation of agricultural products using socio-economic and environmental scenarios. Environmental Monitoring and Assessment 188(11): 627-644.
24. Rahman K.M., and Zhang D. 2018. Effects of fertilizer broadcasting on the excessive use of inorganic fertilizers and environmental sustainability. Sustainability 10(3): 2-15.
25. Salahshor H., Shaabani E., and Kazemian J. 2018. Earthquake risk assessment and calculation “parameters using the Bayesian approach at several selected stations in Iran. International conference on “Contemporary Iranian Civil, Architecture and Urban Development”. Tehran, Shahid Beheshti University, August 25. (In Persian with English abstract)
26. Schoot R., Van D., Kaplan D., Denissen J., Asendorpf J.B., Neyer F.J., and van Aken M.A.G. 2014. A gentle introduction to bayesian analysis: applications to developmental research. The Journal Child Development 85(3): 842-860.
27. Semerci A. 2013. Determining the resource use effciency in wheat (*Triticum aestivum* L.) production: A case study of Edirne Province-Turkey. Bulgarian Journal of Agricultural Science 19: 314-324.
28. Seyedan S.M. 2003. Productivity analysis and determination of optimum use of potato production factors in Hamadan city. Iranian Journal of Agricultural Science 34(4): 1003-1010. (In Persian with English abstract)
29. Shams A., and Moghaddam Fard Z.H. 2017. Factors affecting wheat farmers' attitudes toward organic farming. Polish Journal of Environmental Studies 26(5): 2207-2214.
30. Stonecka I., Lukasik K., and Fornalski K.W. 2019. Simplified bayesian method: application in cytogenetic biological dosimetry of mixed $n + \gamma$ radiation fields. Radiation and Environmental Biophysics 58(1): 49-57.
31. Sun W., and Yuan Y.X. 2006. Optimization Theory and Methods, Nonlinear Programming. Springer, Switzerland.
32. Arora R.K. 2015. Optimization Algorithms and Applications. Taylor and Francis Group, New York, pp: 466.
33. Tembo G., Brorsen B.W., Epplin F.M., and Tostao E. 2008. Crop input response functions with stochastic plateaus. American Journal of Agricultural Economics 90(2): 424-434.
34. Tiffin R., and Balcombe K. 2010. The determinants of technology adoption by UK farmers using bayesian model averaging, the cases of organic production and computer usage. Australian Journal of Agricultural and Resource Economics 55(4): 579-598.
35. Tumusiime E., Brorsen B.W., Mosali J., Johnson J., Locke J., and Biermacher J.T. 2011. Determining optimal level of nitrogen fertilizer using random parameter models. Journal of Agricultural and Applied Economics 43(4): 541-552.
36. Upadhyaya A. 2017. Application of optimization technique for crop planning to improve farm productivity of ICAR-RCER, Patna, India. Journal of Agrisearch 4(1): 68-70.

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 35, No. 1, Spring 2021, p. 79-92

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص. ۹۲-۷۹

Application of Non-normally Distributed Stochastic Plateau Function in Determining the Optimal Economic Level of Chemical Fertilizer Inputs Usage in Irrigated Cereals (Irrigated Wheat and Barley Crops)

H. Balali[1*]- H. Shahbazi Gigasari[2]– Z. Seid Mohammadi[3]– M. Baniasadi[4]
Received: 07-01-2021
Accepted: 02-05-2021

Introduction: Agriculture is one of the basic sectors of any country and is very important in creating employment and production of industrial raw materials. Although the most important role of agriculture in any country is to provide the food security. The world's population is growing, and resources are dwindling. Therefore, feeding the growing population of the world requires more agricultural production. One of the ways to increase agricultural production is to increase yield per hectare. Chemical fertilizers significantly increase production per hectare. But excessive use of chemical fertilizers can also lead to environmentally externalities such as groundwater pollution, reduced quality of agricultural products and endanger human health and the environment. Therefore, the optimal use of production inputs in the agricultural sector is essential. Unfortunately, despite the emphasis of agricultural economists on the optimal use of production inputs, this issue has been taken for granted by farmers and policymakers in the agricultural sector. The purpose of this study is to determine the optimal economic level of use of chemical fertilizers (nitrogen, phosphate and potash) in the production of irrigated wheat and barley.

Materials and Methods: In order to determine the optimal economic level of chemical fertilizer inputs (nitrogen, phosphate and potash) in the production of irrigated wheat and barley in Iran, Bayesian approach and non-normally distributed stochastic plateau function, based on the developed Von Liebig algorithm were used. The estimation of the optimal amount of input usage depends on the functional form and the distribution assumptions based on the production data. The stochastic plateau function is one of the functions has been used to determine the optimal amount of inputs (especially chemical fertilizers). The stochastic plateau function provides insight into why farmers may over-use inputs. The efficiency of the linear stochastic plateau function is better than nonlinear and polynomial functions, and it estimates a more realistic pattern of farmers' expected profits, because the function is stochastic. For simple model estimation, only the input of chemical fertilizers (nitrogen, phosphate and potash) is considered as the limiting resource. If it is assumed that the threshold point is related to the intercept, which represents the yield of crops without input consumption, the equation of the stochastic plateau function is written as the following relation:

$$Y_t = \beta_0 + \min(\beta_1 K_i , \theta v_t) + u_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

Where Y_t the yield of the crops in Iran, K is the amount of input in the crop production, β_i and θ are the coefficients of the yield function that must be estimated, and $u_t \approx N(0, \sigma_u^2)$ is the transmitter intercept that represents all random variables. The used data in this study were collected from agricultural statistics and the production cost database of the Agriculture Ministry. The panel data were collected during 2007-2017 period.

Results and Discussion: Based on the results of the study, the average optimal consumption of nitrogen fertilizer in the production of irrigated wheat and irrigated barley in Iran was estimated 117.05 and 29.00 kg/ha, respectively, while the current average consumption of nitrogen fertilizer in the production of irrigated wheat and barley is 163.626 and 38.75 kg/ha, respectively. In other words, during the years 2007 to 2017, the amount of nitrogen fertilizer used in the production of irrigated wheat was 46.576 kg/ha (equivalent to 28.46%) and in the production of irrigated barley was 9.75 kg/ha (equivalent to 25.16%) more than the optimal level. Also, the potential yield of irrigated wheat and barley with respect to nitrogen fertilizer input was estimated 2754.5 and 2549.80 kg/ha, respectively, in the Bayesian method. The average optimal use of phosphate fertilizer in production of irrigated wheat in Iran was estimated as 97.70 kg/ha, while the current average consumption of phosphate fertilizer in production of irrigated wheat is equal to 123.06.02 kg/ha. In other words, during the years 2007 to 2017, the amount of phosphate fertilizer used in the production of irrigated wheat in Iran was 25.362 kg

1, 3 and 4- Associate Professor, M.Sc. Graduated and Assistant Professor of Agricultural Economics, Department of Agriculture Extension and Education, Bu-Ali Sina University, respectively.
(*- Corresponding Author Email: h-balali@basu.ac.ir)
2- Assistant Professor, Faculty of Agricultural Economics, Sayyed Jamaleddin Asadabadi University
DOI: 10.22067/jead.2021.67444.1001

per hectare (equivalent to 20.609%) more than the optimal level. Also, the potential yield of irrigated wheat due to phosphate fertilizer input, about 2904.54 kg/ha has been obtained in Bayesian method. the average optimal consumption of potash fertilizer in the production of irrigated wheat and irrigated barley in Iran was estimated 39.68 and 81.81 kg/ha, respectively, while the current average consumption of potash fertilizer in the production of irrigated wheat and barley is 50.64 and 134.18 kg/ha, respectively. In other words, during the years 2007 to 2017, the amount of potash fertilizer used in the production of irrigated wheat was 10.96 kg/ha (equivalent to 21.65%) and in the production of irrigated barley was 52.37 kg/ha (equivalent to 39.02%) more than the optimal level.

Conclusion: According to the results of present study, farmers in the production of wheat and barley use chemical fertilizers (nitrogen, phosphate and potash) more than the optimal amount, so that the average optimal use of chemical fertilizers of nitrogen, phosphate and potash in the production of irrigated wheat, respectively 28.52, 20.59 and 78.36, and in the production of irrigated barley, the average optimal use of nitrogen and potash chemical fertilizers, respectively 74.84 and 39.03% per hectare, are less than the current amount of chemical fertilizer use in the country. According to the results of the study, in order to more efficiently use of chemical fertilizers and to reduce environmental pollution caused by their use in agricultural production, the government should reduce the direct payment of chemical fertilizer subsidies. Regarding the elimination of subsidies and pricing of chemical fertilizers (nitrogen, phosphate and potash), the importance of the type of fertilizer in crop production, input production elasticity and input demand elasticity should be considered.

Keywords: Stochastic Plateau function, Bayesian method, Fertilizer, Iran, Optimum consumption, Wheat